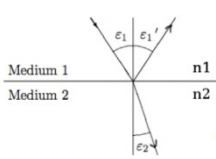
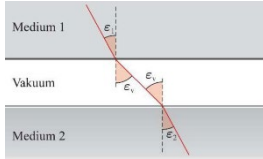
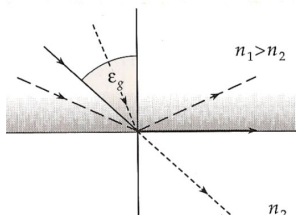
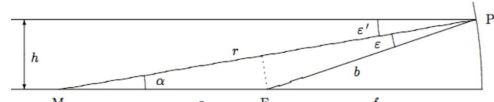
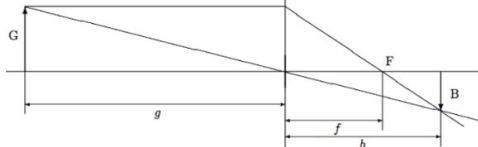


Geometrische Optik

$$c = 299'792'458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$$

Physik2 S.825	$E_s = N \cdot E_p$ $E_p = h \cdot f$ $\lambda = u \cdot T = \frac{u}{f}$	E_p = Energie eines Photons [J] E_s = Strahlungsenergie [J] λ = Wellenlänge [m]																
Brechungsgesetz Physik2 S.850	$\frac{\sin(\varepsilon_1)}{\sin(\varepsilon_2)} = \frac{n_2}{n_1}$ $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ $\varepsilon_1 = \varepsilon_1'$ $\frac{\sin(\varepsilon_1)}{\sin(\varepsilon_2)} = \frac{\sin(\varepsilon_1)}{\sin(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_1)} = \frac{\sin(\varepsilon_1)}{\cos(\varepsilon_1)} = \tan(\varepsilon_1) = n$	 																
Brechungsindex Physik2 S.851	$n = \frac{c}{u}$ $[c]$=Vakumgeschwindigkeit $[u]$=Lichtgeschwindigkeit	<table><tr><th>Medium</th><th>n</th><th>Medium</th><th>n</th></tr><tr><td>Luft</td><td>1,000292</td><td>Kronglas (K13)</td><td>1,522</td></tr><tr><td>Wasser</td><td>1,333</td><td>Flintglas (K2)</td><td>1,620</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Diamant</td><td>2,417</td></tr></table>	Medium	n	Medium	n	Luft	1,000292	Kronglas (K13)	1,522	Wasser	1,333	Flintglas (K2)	1,620			Diamant	2,417
Medium	n	Medium	n															
Luft	1,000292	Kronglas (K13)	1,522															
Wasser	1,333	Flintglas (K2)	1,620															
		Diamant	2,417															
Totalreflexion Physik2 S.852	Für $n_1 > n_2$; Für $\sin(\varepsilon_1) = 1$ $\varepsilon_g = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$ $\varepsilon = \varepsilon_g \Rightarrow$ Grenzfall (ausgezogene Linie) $\varepsilon < \varepsilon_g \Rightarrow$ Brechung (gepunktete Linie) $\varepsilon > \varepsilon_g \Rightarrow$ Reflexion (gestrichelte Linie) Reflexion ist Material und Winkel abhängig																	
Brennweite Physik2 S.844	Spiegel: $f = \frac{r}{2}$ (für kleine h gilt $a = b \approx \frac{r}{2}$) Linse: $\rightarrow$ Linsenschleifer-gleichung																	
Brechkraft, Linsenschleifergleichung Physik2 S.872	$D = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$ $D_{tot} = D_1 + D_2$ Abstand von Linsen $\ll f$	D = Brechwert in Dioptrie [dpt] n_1 = Brechungsindex d. umgebenden Mediums n_2 = Brechungsindex der Linse																
Brillengleichung	$D_B = D'_{min} - D_{min} = \frac{1}{g'_{min}} - \frac{1}{g_{min}}$	D_B = Brechwert der Brille g'_{min} = neue Entfernung zum scharf Sehen g_{min} = alte Entfernung zum scharf Sehen																
Abbildungsgleichung Physik2 S.870	$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ $f = \frac{g \cdot b}{g + b}$ $\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \alpha$ $\alpha_{tot} = \alpha_1 \cdot \alpha_2$ <u>Vorzeichenkonventionen</u><table><tr><td>g $\oplus$ G vor Linse</td><td>$\ominus$ G hinter Linse</td></tr><tr><td>G $\oplus$ reeller G</td><td>$\ominus$ virtueller G, seitenverk.</td></tr><tr><td>f $\oplus$ Sammellinse</td><td>$\ominus$ Zerstreuungslinse</td></tr><tr><td>b $\oplus$ reelles B hinter Linse</td><td>$\ominus$ virtuelles B vor Linse</td></tr><tr><td>B $\oplus$ reelles B, seitenverk.</td><td>$\ominus$ virtuelles B, seitenkorr.</td></tr></table>	g $\oplus$ G vor Linse	$\ominus$ G hinter Linse	G $\oplus$ reeller G	$\ominus$ virtueller G, seitenverk.	f $\oplus$ Sammellinse	$\ominus$ Zerstreuungslinse	b $\oplus$ reelles B hinter Linse	$\ominus$ virtuelles B vor Linse	B $\oplus$ reelles B, seitenverk.	$\ominus$ virtuelles B, seitenkorr.	 Bei reellem Gegenstand $B > 0$: invertiertes Bild $B < 0$: aufrecht, seitenrichtig $\alpha < 1$ = Verkleinerung $\alpha > 1$ = Vergrößerung 3 G = Gegenstandshöhe [m] g = Gegenstandsweite [m] B = Bildhöhe [m] b = Bildweite [m] F = Brennpunkt f = Brennweite [m] α = Vergrößerungsfaktor						
g $\oplus$ G vor Linse	$\ominus$ G hinter Linse																	
G $\oplus$ reeller G	$\ominus$ virtueller G, seitenverk.																	
f $\oplus$ Sammellinse	$\ominus$ Zerstreuungslinse																	
b $\oplus$ reelles B hinter Linse	$\ominus$ virtuelles B vor Linse																	
B $\oplus$ reelles B, seitenverk.	$\ominus$ virtuelles B, seitenkorr.																	

Begriffe

Brennpunkt	Punkt, wo die parallel einfallenden Lichtstrahlen sich bündeln.
Abbildung	Bild = Schnittpunkt von Lichtstrahlen
Reelles Bild	Schnittpunkt von realen Lichtstrahlen
Virtuelles Bild	Spiegelbild = Schnittpunkt der erweiterten Strahlen
virtuell und reell?	Eine Abbildung erzeugt immer entweder ein reelles oder ein virtuelles Bild.
Ganzes Lichtspektrum überlagert	weisses Licht
Dispersion	Aufteilung von Licht aufgrund wellenlängenabhängiger Brechung

Spiegel Physik2, S.868

Sammel-/Konkavspiegel (Hohlspiegel) $f > 0$ $g > 0$		Gegenstand ausserhalb der Brennweite -> reelles, verkleinertes & verkehrtes Bild ($b > 0$) Gegenstand innerhalb der Brennweite -> virtuelles, vergrössertes & aufrechtes Bild ($b < 0$)
Streu-/Konvexspiegel (Wölb Spiegel) $f < 0$ $g > 0$		Gegenstand hat stets virtuelles, verkleinertes & aufrechtes Bild ($b < 0$)
Planspiegel		Bild ist virtuell und gleich gross wie Gegenstand, Bildweite ist gleich Gegenstandsweite Brennpunkt liegt im Unendlichen ($b < 0$)

Linsen Physik2, S.872

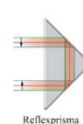
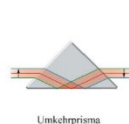
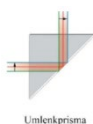
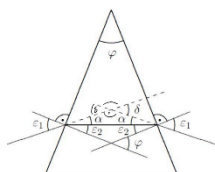
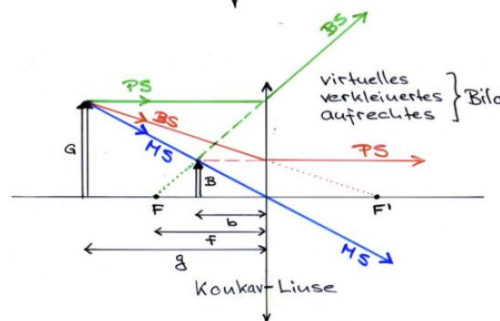
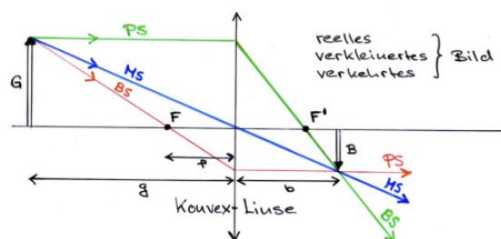
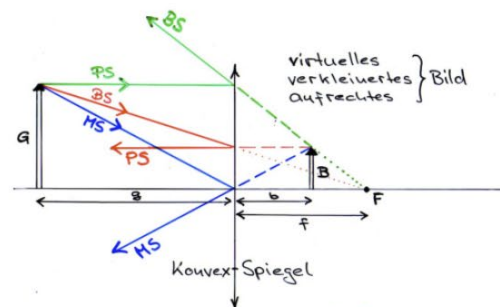
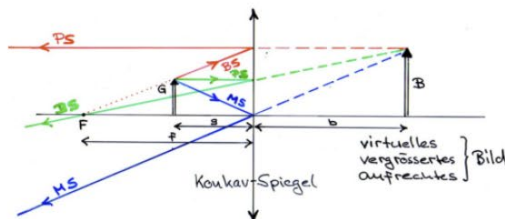
Sammel-/ Konvexlinsen $f > 0$ $g > 0$	 bikonvexe Linse plankonvexe Linse sammelnder Meniskus	Gegenstand ausserhalb der Brennweite -> reelles, verkleinertes & verkehrtes Bild ($b > 0$) Gegenstand innerhalb der Brennweite -> virtuelles, vergrössertes & aufrechtes Bild ($b < 0$)
Zerstreuungs-/ Konkavlinsen $f < 0$ $g > 0$	 bikonkave Linse plankonkave Linse zerstreuer Meniskus	Gegenstand hat stets virtuelles, aufrechtes & verkleinertes Bild ($b < 0$)

Strahlengänge

- Jeder Lichtstrahl in der Bildkonstruktion enthält das gesamte Bild!
- Der Punkt, wo sich die Strahlen schneiden, ist dort, wo das Bild scharf ist.

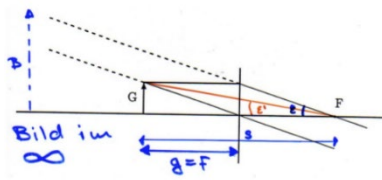
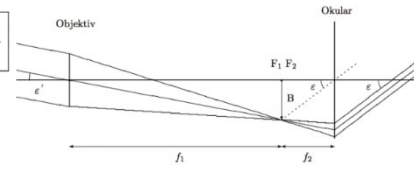
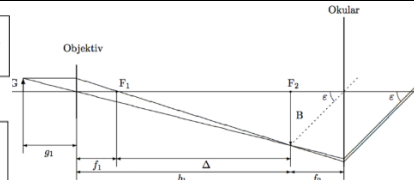
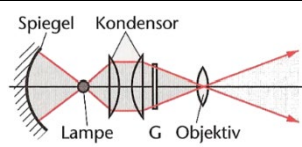
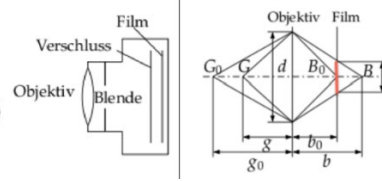
PS → BS
BS → PS
MS → MS

BS = Brennpunkt-Strahl
PS = Parallel-Strahl
MS = Mittelpunkt-Strahl
G = Gegenstandshöhe
g = Gegenstandsweite
B = Bildhöhe
b = Bildweite
F = Brennpunkt
f = Brennweite



Bilder schön ordnen!

Optische Systeme

Lupe Physik2 S.895	$V = \frac{s}{f} = \frac{\tan(\varepsilon)}{\tan(\varepsilon_0)} \rightarrow \frac{s}{g} > V_{\text{normal}}$ 	V = Vergrößerung s = deutliche Sicht ε = Sehwinkel mit Lupe [°] ε₀ = Sehwinkel ohne Lupe [°]
Keplersches Fernrohr (Astronomisch) Physik2 S.900	$V = \frac{\tan(\varepsilon)}{\tan(\varepsilon_0)} = \frac{B/f_2}{B/f_1} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D}{d} = \frac{f_1 + f_2}{a}$ $\frac{1}{f_1 + f_2} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f_2} \quad a = \frac{l}{V} \quad d = \frac{D}{V}$ $l = f_1 + f_2 \quad L = d^2 = \left(\frac{D}{V}\right)^2$ 	D = Durchmesser Objektiv [m] V = Vergrößerung a = Abstand Okular-Austrittspupille [m] l = Abstand Objektiv-Okular [m] d = Grösse Austrittspupille [m] L = Lichtstärke
Microskop Physik2 S.897	$\beta = \frac{b}{g} = \frac{b}{f} - 1 \quad V_1 = \frac{\Delta}{f_1} \quad V_2 = \frac{s}{f_2}$ $\Delta = F_1 F_2 = b_1 - f_1$ $V = V_1 V_2 = \frac{f_1}{f_2} = \frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{s}{f_2} = \frac{B}{G} \cdot \frac{s}{f_2}$ $= \frac{\tan(\varepsilon)}{\tan(\varepsilon_0)}$ 	Erzeugt reelles, vergrössertes & umgekehrtes Bild V₁ = Vergrößerung des Objektes V₂ = Vergrößerung des Okulars Δ = Tubuslänge [m]
Projektor Physik2 S.894	$\beta = \frac{b}{g} = \frac{b}{f} - 1$ 	Erzeugt reelles, vergrössertes & umgekehrtes Bild β = Abbildungsmaassstab
Kamera Physik2 S.890	$\frac{1}{g_{\min/\max}} = \frac{1}{g_0} \pm \frac{u}{q f^2} \quad \begin{matrix} + \text{ für } g_{\min} \\ - \text{ für } g_{\max} \end{matrix}$ $B = \frac{f}{g - f} G \quad (\text{für } g \gg f : B = \frac{f}{g} G)$ $Z = \frac{f}{d} = \frac{1}{q} \quad q = \frac{d}{f} = \frac{1}{Z}$ $E \sim q^2 t$ 	g = Gegenstandsdistanz/ Scharfbereich-Grenze [m] g₀ = Fokussierte Gegenstandsweite Z = Blendenzahl E = Belichtung u = Unschärfekreisdurchmesser [m] q = Öffnungsverhältnis d = Blenden-Durchmesser [m] f = Brennweite

Schärfentiefe Grosse Schärfentiefe ⇒ Kleine Blende ($Z = 16, q = 1 : 16$), kleine Brennweite
Kleine Schärfentiefe ⇒ Grosse Blende ($Z = 4, q = 1 : 4$) "viel Licht", grosse Brennweite

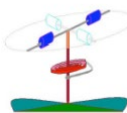
Info Kamera Brennweite: Kurze Brennweite → nahe Gegenstände ; Grosse Brennweite → entfernte Gegenstände

Abbildungsfehler Physik2, S.875

Sphärische Aberration	Brennweite ist Funktion des Abstands zur optischen Achse
Koma	beim schiefen Einfall (→ Schweiförmiger Fehler)
Astigmatismus, Bildfeldwölbung	vertikal und horizontal → andere Brennweite (Auge)
Verzeichnung	tonnen- oder kissenförmige Verzeichnung eines Quadrates (→ Photogrammetrie)
Chromatische Aberration	wegen Dispersion ⇒ Brennweite ist Funktion von λ (Farbe)

Schwingungen

Ungedämpfte Schwingung ohne Störung

Drehbewegungen	$F = m \cdot \alpha \cdot r$$a = r \cdot \alpha$ $F = m \cdot a$$M = J \cdot a$ Linear $x = Weg$$v = x'$$a = v' = x''$ Rotation $\varphi = Weg$$\omega = \varphi'$$\alpha = \omega' = \varphi''$	$x = \text{Weg [m]}$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$a = \text{Beschleunigung [m/s}^2\text{]}$$\alpha = \text{Winkelbeschleunigung [rad/s}^2\text{]}$$\varphi = \text{Weg (Winkel) [rad]}$$\omega = \text{Geschwindigkeit [rad/s]}$$a = \text{Beschleunigung [rad/s}^2\text{]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg/m}^2\text{]}$$m = \text{Masse [kg]}$$M = \text{Moment [N/m]}$$r = \text{Radius [m]}$$F = \text{Kraft [N]}$			
Harmonische Schwingung Physik2 S.511	Differentialgleichung (s) $y = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$A = \sqrt{s_0^2 + \frac{v_0^2 \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2}}$ Differentialgleichung (v) $y' = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$\varphi = \arctan\left(\frac{s_0}{\frac{T}{2\pi} \cdot v_0}\right)$ Differentialgleichung (a) $y'' = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ Wenn max. gesucht: $\sin(\omega t + \varphi) = 1$	$T = \text{Perioden-/Schwingungsdauer[s]}$$\omega = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$f = \text{Frequenz [1/s]}$$A = \text{Amplitude [m]}$$S_0 = \text{Ausschlag [m]}$$V_0 = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$\varphi = \text{Phasenverschiebung [rad]}$			
Schwerependel Physik2 S.519	Mathematisches Pendel Differentialgleichung $l\varphi'' = -g \cdot \sin(\varphi)$ wenn φ klein, dann $\sin(\varphi) = \varphi$ $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{l}} = \sqrt{\frac{g}{l}}$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ Physikalisches Pendel Differentialgleichung $J_A \varphi'' = -mgl_p \varphi$ wenn φ klein, dann $\sin(\varphi) = \varphi$ (immer wenn $\sin(\varphi)$ vorkommt) $T = 2\pi \sqrt{\frac{J_A}{g}}$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_A}{mga}}$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mga}{J_A}} = \sqrt{\frac{mga}{J_S + ma^2}} = \sqrt{\frac{g}{l_A}}$$l_A = \frac{J_A}{m \cdot a} = \frac{J_S + ma^2}{ma} = \frac{J_S}{ma} + a = \frac{T^2 \cdot g}{4 \cdot \pi^2}$ Satz von Steiner $J_A = J_S + m \cdot a^2$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{g}{2} \sqrt{\frac{m}{J_S}}}$ Bei mehreren Massen: $J_A = J_{A1} + J_{A2}$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_A}{(m_1 a_1 + m_2 a_2) \cdot g}}$ Abstand S, S' $a = \frac{m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2}{m_1 + m_2}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$\omega_{\max} = \text{Maximal Kreisfrequenz[1/s]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$$l = \text{länge [m]}$$*l_A = \text{reduzierte Pendellänge [m]}$$a = \text{Länge vom Schwerpunkt zum Drehzentrum [m]}$$J_A = \text{Massenträgheitsmoment bezogen auf eine Drehachse durch den Schwerpunkt S des Körpers (siehe Tabellen) [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$J_S = \text{Massenträgheitsmoment des gleichen Körpers bezogen auf eine Drehachse durch den Punkt A [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$				
Drehpendel Physik2 S.517	Differentialgleichung $J\varphi'' + c\varphi = 0$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{J}}$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{c}}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$				
Federpendel (ohne Federmasse) Physik2 S.516	Differentialgleichung $m\varphi'' + c\varphi = 0$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{c}} = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta h}{g}}$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ <tr><td>Federpendel (mit Masse)</td><td> Differentialgleichung $\left(m + \frac{m_F}{3}\right)\varphi'' + c\varphi = 0$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{J}}$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{m_F}{3}}{c}}$ <tr><td>Schwingungsenergie beim Federpendel</td><td> $E_{\text{pot}} = \frac{cs^2}{2} = \frac{cA^2}{2} \cdot \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cdot \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ Federkonstante c $c = \frac{m \cdot g}{\Delta l}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$$m_F = \text{Federmasse [kg]}$$m = \text{Masse [kg]}$$\varphi = \text{Weg(Winkel) [rad]}$$A = \text{Auslenkung [m]}$$\Delta l = \text{Längenänderung [m]}$$s = \text{Weg [m]}$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$ </td></tr></td></tr>	Federpendel (mit Masse)	Differentialgleichung $\left(m + \frac{m_F}{3}\right)\varphi'' + c\varphi = 0$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{J}}$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{m_F}{3}}{c}}$ <tr><td>Schwingungsenergie beim Federpendel</td><td> $E_{\text{pot}} = \frac{cs^2}{2} = \frac{cA^2}{2} \cdot \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cdot \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ Federkonstante c $c = \frac{m \cdot g}{\Delta l}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$$m_F = \text{Federmasse [kg]}$$m = \text{Masse [kg]}$$\varphi = \text{Weg(Winkel) [rad]}$$A = \text{Auslenkung [m]}$$\Delta l = \text{Längenänderung [m]}$$s = \text{Weg [m]}$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$ </td></tr>	Schwingungsenergie beim Federpendel	$E_{\text{pot}} = \frac{cs^2}{2} = \frac{cA^2}{2} \cdot \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cdot \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ Federkonstante c $c = \frac{m \cdot g}{\Delta l}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$$m_F = \text{Federmasse [kg]}$$m = \text{Masse [kg]}$$\varphi = \text{Weg(Winkel) [rad]}$$A = \text{Auslenkung [m]}$$\Delta l = \text{Längenänderung [m]}$$s = \text{Weg [m]}$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$
Federpendel (mit Masse)	Differentialgleichung $\left(m + \frac{m_F}{3}\right)\varphi'' + c\varphi = 0$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{J}}$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \frac{m_F}{3}}{c}}$ <tr><td>Schwingungsenergie beim Federpendel</td><td> $E_{\text{pot}} = \frac{cs^2}{2} = \frac{cA^2}{2} \cdot \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cdot \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ Federkonstante c $c = \frac{m \cdot g}{\Delta l}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$$m_F = \text{Federmasse [kg]}$$m = \text{Masse [kg]}$$\varphi = \text{Weg(Winkel) [rad]}$$A = \text{Auslenkung [m]}$$\Delta l = \text{Längenänderung [m]}$$s = \text{Weg [m]}$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$ </td></tr>	Schwingungsenergie beim Federpendel	$E_{\text{pot}} = \frac{cs^2}{2} = \frac{cA^2}{2} \cdot \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cdot \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ Federkonstante c $c = \frac{m \cdot g}{\Delta l}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$$m_F = \text{Federmasse [kg]}$$m = \text{Masse [kg]}$$\varphi = \text{Weg(Winkel) [rad]}$$A = \text{Auslenkung [m]}$$\Delta l = \text{Längenänderung [m]}$$s = \text{Weg [m]}$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$		
Schwingungsenergie beim Federpendel	$E_{\text{pot}} = \frac{cs^2}{2} = \frac{cA^2}{2} \cdot \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2} \cdot \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ Federkonstante c $c = \frac{m \cdot g}{\Delta l}$ $T = \text{Schwingungsdauer [s]}$$\omega_0 = \text{Kreisfrequenz [1/s]}$$c = \text{Federkonstante [N/m]}$$m_F = \text{Federmasse [kg]}$$m = \text{Masse [kg]}$$\varphi = \text{Weg(Winkel) [rad]}$$A = \text{Auslenkung [m]}$$\Delta l = \text{Längenänderung [m]}$$s = \text{Weg [m]}$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s]}$$J = \text{Massenträgheitsmoment [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$				

Frei gedämpfte Schwingung (keine Störung)

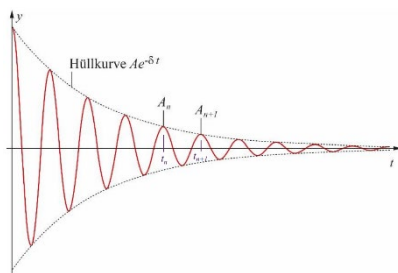
Allgemein Physik2 S.528	Differentialgleichung $y'' + 2\delta y' + \omega_0^2 y = 0$ $D = \frac{\frac{\Lambda}{2\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Lambda}{2\pi}\right)^2}} = \frac{\delta}{\omega_0}$ $\delta = \frac{\beta}{2m}$ $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ $D \approx \frac{\Lambda}{2\pi}$ für kleine Dämpfungsgrade $\Delta A = 4 \frac{F_R}{c}$ Amplitudenabnahme pro Periode bei konst. Reibung bei Harmonischer Schwingung	D = Dämpfungsgrad [N/m·s][kg/s] δ = Abklingkoeffizient m = Masse [kg] Λ = Logarithmisches Dekrement c = Federkonstante [N/m] E = Energie [J] ω_0 = Kreisfrequenz ungedämpfte Schwingung [1/s] ω_d = Kreisfrequenz gedämpfte Schwingung [1/s] F_R = Reibungskraft [N] β = Dämpfungskonstante T = Perioden-/Schwingungsdauer [s] φ = Phasenverschiebung [rad] q = Amplituden Verhältnis A = Amplitude [m] A₁ = Amplitude (DGL)
Gedämpfte Schwingung D < 1 Physik2 S.530	Kreisfrequenz gedämpfte Schwingung $\omega_d = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - D^2}$ $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ $e^{n\delta T} = \frac{A_n}{A_{n+1}} = \sqrt{\frac{E_n}{E_{n+1}}} = q^n$ $\Lambda = \delta T$ $\Lambda = \ln\left(\sqrt{\frac{A_n}{A_{n+1}}}\right) \frac{T}{t}$ $\Lambda = \ln\left(\frac{A_n}{A_{n+1}}\right)$ $\Lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot D}{\sqrt{1 - D^2}}$ $T_d = \frac{2\pi}{\omega_d}$ $E_{pot} = \frac{cs^2}{2} = \frac{cA^2}{2} \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi)$ $\frac{E}{E_0} = 50\% \Rightarrow \frac{E}{E_0} = \frac{1}{2} = \frac{A^2}{A_0^2}$ für kleine Dämpfungen $\delta < \omega$ $y = A \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega_d t + \varphi_0)$	
Aperiodisch D > 1 Physik2 S.533 Aperiodisch Grenzfall D = 1 Physik2 S.534	$y = A_1 e^{\lambda_1 t} + A_2 e^{\lambda_2 t}$ $\lambda_1 = -\omega_0 (D + \sqrt{D^2 - 1})$ $\lambda_2 = -\omega_0 (D - \sqrt{D^2 - 1})$ $y = (A_1 + A_2 t) e^{-\delta t}$ $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = 0$ $\omega_0 = \delta$	

Federn in Serie und Parallel

Parallel: $c = c_1 + c_2$

Serie: $c_1 \parallel c_2 = c = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}} = \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$

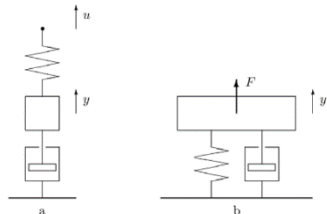
Logarithmisches Dekrement



Die **Erregungsschwingung** ist jeweils das Störglied der DGL. Es gilt der allgemeine mechanische Zusammenhang:

$$\boxed{F_E + F_R + F_D = m\ddot{y}} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{ll} F_R = -ky & \text{"Rückstellkraft"} \\ F_D = -\beta\dot{y} & \text{"Dämpfungskraft"} \\ F_E = \hat{F}_E \cdot \sin(\varphi) & \text{"Erregerkraft"} \end{array} \quad \text{und} \quad \begin{array}{ll} k: & \text{Richtgrösse} = F/y \\ \beta: & \text{Dämpfungskonstante} = 2\delta m \end{array}$$

Kraft- / Federkrafterregung



$$D > \frac{1}{\sqrt{2}}$$

"überkritische Dämpfung" $\Rightarrow$
Auch bei Resonanz bleibt die Amplitude stets unter der statischen Auslenkung ($V \leq 1$)

$$\text{Differentialgleichung: } m\ddot{y} + \beta\dot{y} + cy = \underbrace{cu_0}_{F_0} \sin(\omega t)$$

$$\text{Allgemeine Lösung der DGL: } y(t) = \underbrace{A(\omega) \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)}_{\text{stationär}} + \underbrace{Be^{-\delta t} \sin(\omega_d \cdot t + \varphi_1)}_{\text{transient}}$$

$$\text{Amplitude: } A = \frac{cu_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2D\omega_0\omega)^2}}$$

$$\text{Phase zw. } \omega_0 \text{ \& } \omega: \varphi = \arctan\left(\frac{2D\omega_0\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}\right)$$

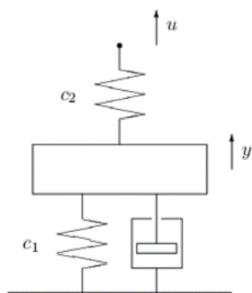
$$\text{Resonanzkreisfrequenz: } \omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - 2D^2} \quad (\omega_r < \omega_d < \omega_0)$$

$$\text{Resonanzamplitude: } A_r = \frac{u_0}{2D\sqrt{1 - D^2}} = \frac{c \cdot u_0}{2m\sqrt{(\delta\omega_0)^2 - \delta^4}}$$

$$\text{Vergrößerungsfunktion: } V = \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2}} = \frac{A(\omega)}{u_0}$$

$$\text{Vergrößerung bei Resonanz: } V_r = \frac{1}{\sqrt{1 - \eta_r^4}} \text{ mit } \eta_r = \sqrt{1 - 2D^2}$$

Indirekte Federkrafterregung



$$\text{Differentialgleichung: } m\ddot{y} + \beta\dot{y} + cy = c_2 u_0 \sin(\omega t)$$

$$\text{Amplitude: } A = \frac{c_2}{c} \frac{cu_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2D\omega_0\omega)^2}}$$

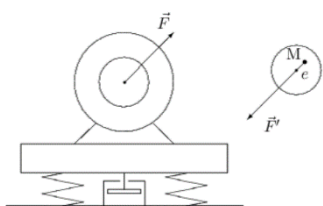
$$\text{Phase zw. } \omega_0 \text{ \& } \omega: \varphi = \arctan\left(\frac{2D\omega_0\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}\right)$$

$$\text{Resonanzkreisfrequenz: } \omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - 2D^2}$$

$$\text{Resonanzamplitude: } A_r = \frac{u_0}{2D\sqrt{1 - D^2}}$$

$$\text{Vergrößerungsfunktion: } V = \frac{c_2}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2}}$$

Unwuchterregung



m_R : Rotormasse (bewegt)

e : Exzentrizität (Distanz Achse $\leftrightarrow$ SP)

F_0 : Kraft auf Fundament ohne Federung

F_{B0} : verringerte Kraft

$$\text{Erregung: } F(t) = F_0 \cdot \sin(\omega t)$$

$$F_0 = m \cdot a_r = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot r \cdot \omega^2 = m_R \cdot e \cdot \omega^2$$

$$\text{Differentialgleichung: } m\ddot{y} + \beta\dot{y} + cy = \underbrace{m_R e \omega^2 \sin(\omega t)}_{F(t)}$$

$$\text{Amplitude: } A = \frac{m_R e \omega^2}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2D\omega_0\omega)^2}}$$

$$\text{Phase zw. } \omega_0 \text{ \& } \omega: \varphi = \arctan\left(\frac{2D\omega_0\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}\right)$$

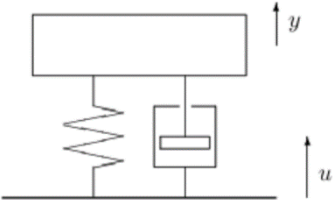
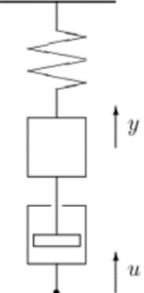
$$\text{Resonanzkreisfrequenz: } \omega_r = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - 2D^2}}$$

$$\text{Resonanzamplitude: } A_r = \frac{m_R}{m} \frac{e}{2D\sqrt{1 - D^2}}$$

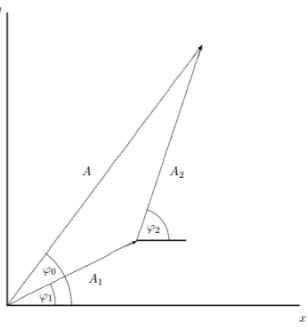
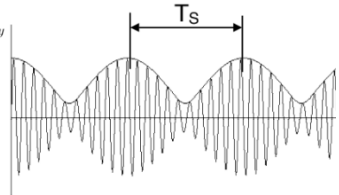
$$\text{Kraftamplitude ohne Fed.: } F_0 = m_R e \omega^2 \sin(\omega t)$$

$$\text{Kraftamplitude mit Fed.: } F_{B0} = \frac{m_R e \omega^2 \sqrt{1 + 4D^2\eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + 4D^2\eta^2}} = F(\eta)$$

$$\text{Verhältnis: } \frac{F_{B0}}{F_0} = \sqrt{\frac{1 + 4D^2\eta^2}{(1 - \eta^2)^2 + 4D^2\eta^2}}$$

Stützerregung 	Differentialgleichung: $m \ddot{y} + \beta \dot{y} + c y = c u_0 \sin(\omega t) + b \omega u_0 \cos(\omega t)$ $m \ddot{q} + \beta \dot{q} + c q = m \omega^2 u_0 \sin(\omega t)$ Amplitude: $A = \frac{\omega^2 u_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2D \omega_0 \omega)^2}}$ Phase zw. ω_0 & ω: $\varphi = \arctan\left(\frac{2D \omega_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}\right) - \pi$ Resonanzkreisfrequenz: $\omega_r = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - 2D^2}}$ Resonanzamplitude: $A_r = \frac{u_0}{2D \sqrt{1 - D^2}}$ Vergrößerungsfunktion: $V = \frac{\eta^2}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2}}$
Dämpfererregung 	Differentialgleichung: $m \ddot{y} + \beta \dot{y} + c y = b \omega u_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ Amplitude: $A = \frac{b \omega u_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2D \omega_0 \omega)^2}}$ Phase zw. ω_0 & ω: $\varphi = \arctan\left(\frac{2D \omega_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}\right) - \frac{\pi}{2}$ Resonanzkreisfrequenz: $\omega_r = \omega_0 \rightarrow \text{max. bei } \eta = 1$ Resonanzamplitude: $A_r = u_0 \rightarrow V(1) = 1$ Vergrößerungsfunktion: $V = \frac{2 D \eta}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2}}$

Überlagerung von Schwingungen

	Schwingung mit gleicher Frequenz $y = y_1 + y_2$ $y_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$ $y_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$ $y = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$ Schwingung mit verschiedenen Frequenzen $y_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ $y_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$ $y = A_s \sin(\overline{\omega} t + \overline{\varphi} + \varphi)$ $\overline{\omega} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ $\overline{\varphi} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$ $\varphi_0 = \left(\frac{A_1 \sin(\varphi_1) + A_2 \sin(\varphi_2)}{A_1 \cos(\varphi_1) + A_2 \cos(\varphi_2)} \right)$
	$\omega_s = \omega_1 - \omega_2$ $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 [\cos^2(\overline{\omega} t + \overline{\varphi}) - \sin^2(\overline{\omega} t + \overline{\varphi})]}$ $T_s = \frac{2\pi}{\omega_s}$ $\varphi = \arctan\left(\frac{\dot{A}}{A} \tan(\overline{\omega} t + \overline{\varphi})\right)$ $\overline{A} = \frac{A_1 + A_2}{2}$ $\overline{\omega} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$ $\dot{\overline{A}} = \frac{A_1 - A_2}{2}$ $\overline{\varphi} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}$

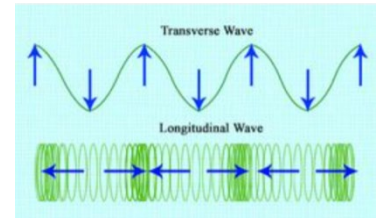
Wellen Physik2 S.611

Was ist eine Welle?

Eine Welle ist eine Schwingung, die sich räumlich ausbreitet. Es wird keine Masse verschoben. Es ist ein Transport von Energie

Wellenarten:

- Longitudinalwellen(Längswellen): Schwingungs- und Ausbreitungsrichtung sind gleich. Bsp. Druckwellen, Schallwellen. für Gas und Flüssigkeiten
- Transversalwellen(Querwellen): Schwingungs- und Ausbreitungsrichtung sind senkrecht. Bsp. Elektromag. Wellen. Für Gas, Flüssigkeiten und Festkörper
- Longitudinalwellen sind schneller als Transversalwellen



Wellengleichung Wellenfunktion

Wellengleichung Physik2 S.617	$\ddot{\xi}(t) = u^2 \cdot \xi''(x) \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = u^2 \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}$	$\xi(x,t)$ = Wellenfunktion (Funktion in zwei Variablen Auslenkung am Ort x zur Zeit t) ξ_0 = Amplitude (Einheit Abhängig von Physik der Anforderung) ξ'' = Zweite Ableitung nach dem Ort $\ddot{\xi}$ = Zweite Ableitung nach der Zeit λ = Wellenlänge [m] u = Wellenausbreitungsgeschwindigkeit [m/s] ω = Kreisfrequenz [1/s] k = Wellenzahl φ = Phasenverschiebung [rad] f = Frequenz [1/s] T = Periodendauer [s]
Harmonische Wellen(Sonnenlicht) Physik2 S.621	$\xi(x, t) = \xi_0 \cdot e^{-j(\omega t - kx)}$ $\xi(x, t) = \xi_0 \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi)$	
Harmonische Kugelwellen Physik2 S.631	$\xi(x, t) = \frac{\xi_0}{x} \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi)$ $\xi(x, t) = \frac{\xi_0}{x} \cdot e^{-i(\omega t - kx)}$	

Wichtige Bezeichnungen

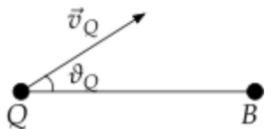
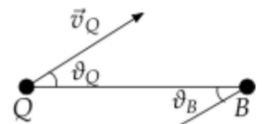
$k = \frac{\omega}{u} = \frac{2\pi}{\lambda}$	$u = \frac{\omega}{k} = \lambda \cdot f$	$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{u}{f}$	$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{u}{\lambda} = \frac{1}{T}$	$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$	$\varphi = \omega t - kx$
---	--	--	------------------------------------	---	---	---------------------------

Wellenausbreitungsgeschwindigkeit **Physik2 S.615**

Elastische Längswelle $u = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ E : Elastizitätsmodul in N/m^2 ρ : Dichte in kg/m^3	Elastische Querwelle $u = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ mit $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ G : Schubmodul in N/m^2 μ : Poisson-Zahl (einheitslos)	Querwelle bei Saite oder Seil $u = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = \sqrt{\frac{F}{\rho} + \frac{\pi E A}{\rho \lambda^2}}$ F : Spannkraft in N
Schwerewelle in tiefem Wasser $u = \sqrt{\frac{g \lambda}{2\pi}} \quad (\lambda \ll h)$ h : Wassertiefe in m	Schwerewelle in flachen Wasser $u = \sqrt{g h} \quad (\lambda \gg h)$ 	Kapillarwelle $u = \sqrt{\frac{2\pi \sigma}{\rho \lambda}}$ σ : Oberflächenspannung in N/m
Schallwelle in Fluiden $u = \sqrt{\frac{1}{\rho \kappa}}$ κ : Kompressibilität m^2/N	Schallwelle in Gasen $u = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\kappa R T}{M}} \quad T=20^\circ C \quad \underset{\text{Luft}}{\approx} 344 \frac{m}{s}$ p : Druck in N/m^2 M : Molmasse in kg/mol κ : Adiabatenexponent (einheitslos)	Elektromagnetische Welle $u = \frac{c}{n}$ n : Brechungsindex (einheitslos)
$M_{Luft} = 0.02883 \frac{kg}{mol} = 28.83 \frac{g}{mol} \quad ; \quad \kappa_{Luft} = 1.4 \quad ; \quad R = 8.3145 \frac{J}{mol \cdot K} \quad ; \quad T: C^\circ + 273,15K \quad ; \quad \rho = \frac{p M}{R T}$		

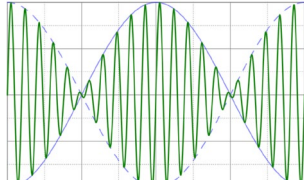
Mach'scher Kegel (Dopplereffekt in Medium bei hoher Geschwindigkeit) **Physik2 S.638**

	$\sin(\vartheta) = \frac{u}{v} = \frac{1}{M} = \frac{a}{d}$ $d = \frac{v}{u} \cdot a$	u = Geschwindigkeit der Schallquelle [m/s] v = Objektgeschwindigkeit [m/s] a = Abstand zum Beobachter [m] d = Distanz [m] ϑ = Winkel zwischen u und v [°] M = Machzahl Verhältnis (Objektgeschwindigkeit zu Schallgeschwindigkeit)
--	---	---

Bewegte Quelle ruhender Beobachter 	$f_B = \frac{1}{1 + \frac{v_Q}{u} \cos(\vartheta_Q)} f_Q$$f_B = \frac{1}{1 - \frac{v_Q}{u} \cos(\vartheta_Q)} f_Q$  $f_B = \left(1 + \frac{v_B}{u} \cos(\vartheta_B)\right) f_Q$$f_B = \left(1 - \frac{v_B}{u} \cos(\vartheta_B)\right) f_Q$ $f_B = \frac{u + v_B \cos(\vartheta_B)}{u - v_Q \cos(\vartheta_Q)} f_Q$ Allgemein	u = Schallgeschwindigkeit [m/s] β = Relative Geschwindigkeit c = Lichtgeschwindigkeit [m/s] f_Q = gesendete Frequenz [1/s] f_B = gehörte Frequenz [1/s] v_Q = Geschwindigkeit Quelle [m/s] v_B = Geschwindigkeit Beobachter [m/s] v_{rel} = Relativgeschwindigkeit zw. Q und B ϑ_Q = Winkel [°] ϑ_B = Winkel [°] ϑ_{rel} = Winkel zwischen v_{rel} und QB
Ruhende Quelle bewegter Beobachter 	$f_B = \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \beta \cos(\vartheta_{rel})} f_Q$$\beta = \frac{v_{rel}}{c}$$v_{rel} = v_B - v_Q$	Wenn kein Winkel angegeben cos(ϑ) = 1

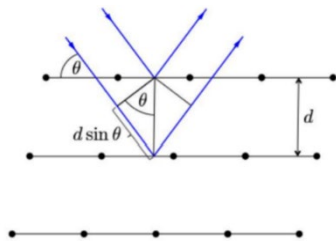
Bewegte Quelle (mit Frequenz) und bewegter Beobachter kommen aufeinander zu:
1. v'(Bewegte Quelle) mit gegebener Frequenz ausrechnen
2. v'(Bewegter Beobachter) mit v = v'(Bewegte Quelle) ausrechnen

Schwebungsfrequenz

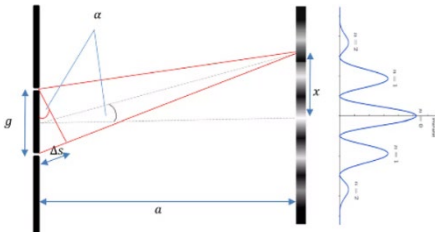
	$T_s = \frac{1}{f_1 - f_2}$$f_s = \frac{f_1 + f_2}{2}$ resultierende Frequenz (f₁ und f₂ in gleicher Richtung) $f_s = f_1 - f_2$$f_s = \frac{f_1 - f_2}{2}$ resultierende Frequenz (f₁ und f₂ in entgegengesetzter Richtung)	f₁ = Frequenz Schallwelle 1 [1/s] f₂ = Frequenz Schallwelle 2 [1/s] f_s = Schwebungsfrequenz [1/s] T_s = Schwebungsdauer [s]
--	--	---

Beugung

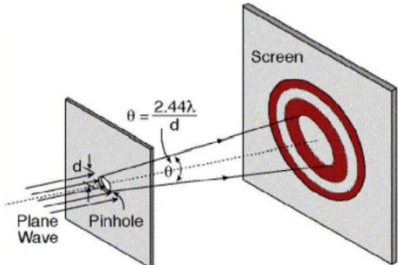
Beugung am Einfachspalt Physik2 S.731	Minimum n-ter Ordnung $\sin(\varphi_n) \cdot s = n \cdot \lambda$ Maximum n-ter Ordnung $\sin(\varphi_n) \cdot s = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$	ϕ_n = Winkel n-ter Ordnung [°] λ = Wellenlänge des Lichts [m] s = Spaltgrösse [m] d = Spaltabstand von hell/dunkelstellen[m]
Beugung am Doppelspalt Physik2 S.731	Minimum n-ter Ordnung $\sin(\varphi_n) \cdot s = (2n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ Maximum n-ter Ordnung $\sin(\varphi_n) \cdot s = n \cdot \lambda$	l = Abstand zur projizierten Fläche [m] D = Durchmesser [m] n = 0, 1, 2, 3 ...= Ordnungen c = Lichtgeschwindigkeit [m/s] f = Frequenz [1/s]
Beugung mit kreisförmiger Öffnung Physik2 S.735	$\sin(\varphi) \approx \tan(\varphi)$ $\sin(\varphi_n) = 1.22 \frac{\lambda}{D}$	
Beugung am Gitter Physik2 S.736	$\sin(\varphi_n) = n \cdot \frac{\lambda}{d}$	$\lambda = \frac{c}{f}$ $\tan(\varphi) = \frac{d}{l}$



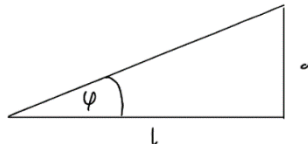
Beugung am Gitter



Beugung am Doppelspalt



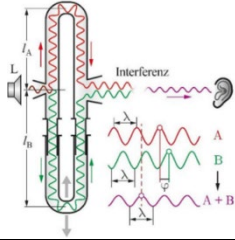
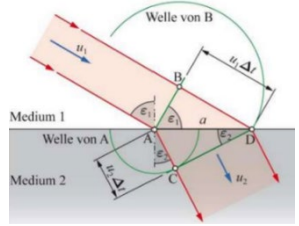
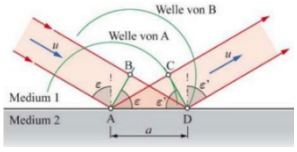
Beugung mit kreisförmiger Öffnung



Abstand zur Projektion Fläche

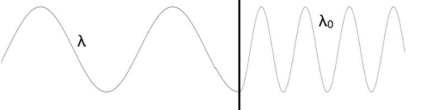
Überlagerung von Wellen gleicher Frequenz

Weil Wellenoptik und Strahlenoptik dieselben Phänomene beschreiben, gelten die gleichen Gesetze. Siehe Kapitel Optik.

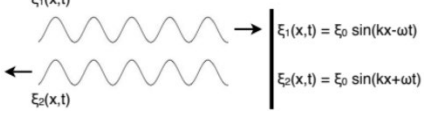
Interferenz Physik2 S.689 	$\Delta s_{\max} = n\lambda \quad k_0(n\Delta s) = n2\pi$ $\Delta s_{\min} = \frac{2n+1}{2}\lambda \quad k_0(n\Delta s) = (2n+1)\pi$ $\xi = \underbrace{\cos\left(k\frac{\Delta s}{2}\right)}_{\text{Amplitude}} \cdot \underbrace{\sin\left(\omega t - \frac{k(s_A + s_B)}{2}\right)}_{\text{Phase}}$ $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ $\lambda = \frac{c}{f}$	$\Delta s_{\max}$ = Konstruktiv (Amplituden max) $\Delta s_{\min}$ = Destruktiv (Amplituden min) Δs = Wegunterschied [m] $s_A = 2 \cdot l_A$ = Obere Länge des Rohrs [m] $s_B = 2 \cdot l_B$ = Untere Länge des Rohrs [m] k_0 = Wellenzahl im Vakuum λ_0 = Wellenlänge im Vakuum [m] ξ = Welle der Grundgleichung $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ = Ordnungs
Reflexion und Brechung Physik2 S.697 	$\frac{\sin(\varepsilon_1)}{\sin(\varepsilon_2)} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{n_2}{n_1}$ $\sin(\varepsilon') = \frac{\overline{AC}}{a}$ $\sin(\varepsilon) = \frac{\overline{BD}}{a}$ $\overline{AC} = u_2 \Delta t$ $\overline{BD} = u_1 \Delta t$ $u = \frac{c}{n}$ $\varepsilon' = \varepsilon_1$ 	u = Wellengeschwindigkeit [m/s] c = Lichtgeschwindigkeit [m/s] n = Brechungsindex a = Abstand von A nach D [m] Δt = Zeitunterschied [s] ε = Eintrittswinkel [°] ε' = Austrittswinkel [°]
Reflexion und Transmission Physik2 S.702 	$R = \left(\frac{\xi_r}{\xi_h}\right)^2 = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2 = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$ $T = 1 - R = \frac{4Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$ $Z = \rho \cdot u \quad \text{Allgemein}$ $I_r = R \cdot I_h \quad I_h = I_r + I_t \quad I_t = T \cdot I_h$ $Z = Z_0 \cdot \frac{c}{n} : Z_0 = 377 \Omega \quad \text{Elektromagnetisch}$	ξ_r = Amplitude des reflektierten Signales ξ_h = Amplitude des hinlaufenden Signales ρ = Dichte des Mediums u = Wellengeschwindigkeit im Medium c = Lichtgeschwindigkeit n = Brechungsindex Z_0 = Wellenimpedanz des Vakuums [Ω] Z = Wellenwiderstand R = Reflexionskoeffizient T = Transmissionskoeffizient

Prinzip von Hygens **Physik2 S.696**

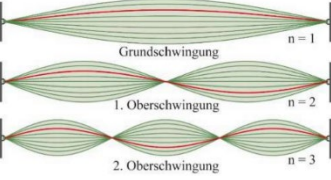
Wellenausbreitung von Licht

 $u = \frac{c}{n}$ $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ Wenn das Licht von einem leichten Material ($n < 1$) in ein schweres Material ($n > 1$) eintritt, erfolgt eine Phasenverschiebung um π. (Umgekehrt passiert nichts.)	n = Brechungsindex c = Lichtgeschwindigkeit [m/s] λ_0 = Wellenlänge Glas [m] λ = Wellenlänge Vakuum [m]
---	--

Stehende Wellen **Physik2 S.713**

 $\xi_1(x,t) = \xi_0 \sin(kx - \omega t)$ $\xi_2(x,t) = \xi_0 \sin(kx + \omega t)$ $\xi(x,t) = A(x) \sin(\omega t) = A_0 \sin(kx) \cdot \sin(\omega t)$	A_0 = Amplitude ω = Kreisfrequenz [rad/s] k = Wellenzahl [1/m]
---	---

Eigenschwingung von Wellen

Allgemein	$f_n = \frac{1}{T_n} = n \cdot \frac{u}{2 \cdot l} \quad \text{"Eigenfrequenz"}$ $\lambda_n = \frac{u}{f_n} = \frac{2 \cdot l}{n}$	m, n = Anzahl Oberwellen a, b, l = Länge/Breite
Saiten Physik2 S.719	$f_n = n \cdot \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = n \cdot \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$ $\lambda_n = \frac{2l}{n} \quad (n = 1, 2, 3 \dots)$	μ = Masse A = Fläche der Saite F = Spannkraft
Pfeifen Physik2 S.719 	Offen: $f_n = n \cdot \frac{1}{2l} u = n \cdot \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}}$ $\lambda_n = \frac{2l}{n} \quad (n = 1, 2, 3 \dots)$ Gedeckt: $f_{(2n-1)} = \frac{2n-1}{4l} \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}}$ $\lambda_n = \frac{4l}{2n-1} \quad ((2n-1) = 1, 3, 5 \dots)$	u = Wellenausbreitungsgeschwindigkeit R = Gaskonstante (8.3145) [J/(mol·K)] κ = Adiabatenexponent T = Temperatur [K] ($0^\circ = 273.15K$) M = Molmasse [kg] ρ = Dichte [kg/m³] σ = Oberflächenspannung [N/m]
Membranen Physik2 S.719	$f_{mn} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \sqrt{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}}$	

Schallwellen sind immer Longitudinal

Allgemein	$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ $v_{eff\ 0} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$ $p_{eff\ 0} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ (bei 0dB und 200Hz)	I_0 = Intensität menschl. Gehör [W/m ²] P_0 = Bezugsschallleistung [W] $v_{eff\ 0}$ = Bezugsschallschnelle [m/s] $p_{eff\ 0}$ = Bezugsschalldruck [Pa]
Schallfeldgrößen Physik2 S.763	$\xi = \xi_0 \sin(\omega t - kx)$ $v = \dot{\xi} = \omega \xi_0 \cos(\omega t - kx)$ $v = v_0 \cos(\omega t - kx)$ $\hat{p}(x, t) = \Delta p_0 \cos(\omega t - kx)$ $p_{eff} = \frac{\Delta p_0}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \xi_0 \pi \rho u v$ $I = \frac{1}{2} \rho v_0^2 u = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \xi_0^2 u = \frac{\Delta p_0^2}{2Z}$ $E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k \cdot T$ $v_0 = \omega \xi_0$ $Z = \rho \cdot u = \frac{\Delta p_0}{v_0}$ $I = 10^{\frac{L}{10}} \cdot I_0$	ξ = Schallwelle v = Schallschnelle [m/s] v_0 = Anfangsschallschnelle [m/s] ω = Kreisfrequenz [rad/s] k = Wellenlänge [m] $\hat{p}(x, t)$ = Schalldruck [N/m ²] Δp_0 = Druckamplitude p_{eff} = Effektivwert ρ = Dichte [kg/m ³] u = Schallgeschwindigkeit [m/s] I = Intensität [W/m ²] Z = Schallwellenimpedanz [Ω] L = Schallintensitätspegel [dB] m = Masse [kg] v = Geschwindigkeit [m/s] T = E_{kin} = Kinetische Energie [J]
Pegelgrößen Physik2 S.765	$L_I = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ $L_P = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$ $L_v = 20 \cdot \log\left(\frac{v_{eff}}{v_{eff\ 0}}\right)$ $L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{p_{eff}}{p_{eff\ 0}}\right)$	L_I = Schallintensitätspegel [W/m ²] L_P = Schallleistungspegel [W] L_v = Schallschallenenpegel [m/s] L_p = schalldruckpegel [Pa]
Schallausbreitung Physik2 S.781	Kugelwellen: $I = \frac{P}{4\pi r^2}$ $L_2 = L_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1} - K(r_2 - r_1)$ $I_2 = \frac{I_1 \cdot 4 \cdot \pi \cdot r_1}{4 \pi r_2}$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ Zylinderwellen: $I = \frac{P_l}{2\pi r}$ $L_2 = L_1 - 10 \log \frac{r_2}{r_1} - K(r_2 - r_1)$ $I_2 = \frac{I_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1}{2 \pi r_2}$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1}$	$I = I_1 = I_2$ = Intensität [W/m ²] $L_1 = L_2$ = Schallintensitätspegel [dB] K = Dämpfungsfaktor $r = r_1 = r_2$ = Radius [m] P = Schallleistung [W] P_l = Schallleistung pro Längeneinheit [W/m]
Dämpfung Physik2 S.772	$R = 10 \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$ $\alpha = 1 - R$	R = Schalldämm-Mass [dB] α = Absorbierungsgrad P_1 = Eingestrahle Leistung [W] P_2 = Ausgestrahle Leistung [W]

Sonstiges über Schallwellen

Druck zweier Schallquellen in Phase	$p = p_0 \cdot \cos\left(\frac{1}{2}\delta\right) \cdot \sin\left(kx - \omega t - \frac{1}{2}\delta\right)$	α = Absorbierungsgrad V = Volumen [m ³] A = Fläche [m ²]
Nachhallzeit Physik2 S.779	$T_N = 0.16 \cdot \frac{V}{\sum_i \alpha_i A_i}$	

Diverses

Massenträgheitsmomente



Zylinder

$J_s = \frac{mr^2}{2}$



Stab (mitte)

$J_s = \frac{ml^2}{12}$



Stab (ende)

$J_s = \frac{ml^2}{3}$



Quader

$J_s = \frac{m(a^2 + b^2)}{12}$



Kugel

$J_s = \frac{2}{5}mr^2$



Hohlzylinder

$J_s = \frac{m(r_a^2 + r_i^2)}{2}$



Scheibe

$J_s = \frac{1}{2}mr^2$

J_s = Massenträgheitsmoment [kg · m²]

mehr im Kuchling S.131/132

deg	rad	sin	cos	tan
0 °	0	0	1	0
30 °	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$
45 °	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1
60 °	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$

deg	rad	sin	cos
90 °	$\frac{\pi}{2}$	1	0
120 °	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$
135 °	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$
150 °	$\frac{5\pi}{6}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$

deg	rad	sin	cos
180 °	π	0	-1
210 °	$\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$
225 °	$\frac{5\pi}{4}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$
240 °	$\frac{4\pi}{3}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$

deg	rad	sin	cos
270 °	$\frac{3\pi}{2}$	-1	0
300 °	$\frac{5\pi}{3}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$
315 °	$\frac{7\pi}{4}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
330 °	$\frac{11\pi}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$

Dichte ρ

Feste Stoffe bei 20 °C

	kg/m ³
Aluminium	2'700
Beton	2'200
Blei	11'340
Buchen- und Eichenholz Trocken	700
Diamant	3'510
Eis (bei 0 °C)	917
Eisen chem. rein	7'860
Glas	2'500
Gold	19'290
Graphit	2'240
Eisen Invar (64% Fe, 36% Ni)	8'000
Kalkstein (Marmor)	2'700
Kork	300
Kupfer	8'920
Messing (65% Cu, 35% Zn)	8'470
Natrium	970
Nickel	8'900
Paraffin	900
Platin	21'450
Plexiglas	1'180
Porzellan	2'400
Quarzglas	2'200
Silber	10'500
Silizium	2'420
Styropor	20
Tannenholz, trocken	500
Uran	18'700
Wolfram	19'300
Ziegelstein	1'600
Zink	7'140
Zinn	7'290

Flüssigkeiten bei 20 °C

	kg/m ³
Aceton	(CH ₃) ₂ CO 791
Benzol	C ₆ H ₆ 879
Benzin	744
Diethylether	(C ₂ H ₅) ₂ O 714
Ethanol (Alkohol)	C ₂ H ₅ OH 789
Glyzerin	CH ₃ OH 1261
Heizöl	840
Methanol	CH ₃ OH 792
Olivenöl	920
Quecksilber	Hg 13'546
Schwefelsäure	H ₂ SO ₄ 1840
Tetrachlorkohlenstoff	CCL ₄ 1594
Wasser	H ₂ O 998
schweres Wasser	D ₂ O 1105

Gase bei 273.15 K und 1.013 10⁵ Pa

	kg/m ³
Ammoniak	NH ₃ 0.771
Argon	Ar 1.784
Butan	C ₄ H ₁₀ 2.732
Erdgas	0.83
Helium	He 0.1785
Kohlendioxid	CO ₂ 1.977
Kohlenmonoxid	CO 1.250
Luft	1.293
Methan	CH ₄ 0.717
Neon	Ne 0.900
Propan	C ₃ H ₈ 2.010
Sauerstoff	O ₂ 1.429
Schwefeldioxid	SO ₂ 2.926
Stickstoff	N ₂ 1.250
Wasserstoff	H ₂ 0.0899
Xenon	Xe 5.897

Ausbreitungsgeschwindigkeit c

	10 ⁸ m/s
Licht, Vakuum	2.99792458
Licht, Luft	2.99711
Licht, Quarzglas	2.05
Licht, Glas	1.86 – 2.0
Licht, Diamant	1.25
Licht, Wasser	2.25
Licht, Eis	2.29

	m/s
Schall, Luft, 5°C	335
Schall, Luft 15°C	340
Schall, Luft 25°C	346
Schall, Wasser	ca. 1'500
Schall, Kupfer	4'660
Schall, Eisen Fe	5'170
Schall, Aluminium	6'300